

М. А. Боровых, В. В. Вьюхин, О. А. Чикова, В. С. Цепелев
УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург
chik63@mail.ru

О ВЛИЯНИИ ДЕФЕКТОВ НА ВЯЗКОСТЬ ЖИДКОЙ СТАЛИ 32Г2

Проведено вискозиметрическое исследование жидкой стали марки 32Г2, отобранной от готовых труб нефтегазового сортамента характеризующихся различной степенью дефектности. По результатам измерений сделано заключение о характере влияния дефектов, регистрируемых магнитопорошковым и ультразвуковым методами, на характер температурных и временных зависимостей кинематической вязкости жидкой стали 32Г2. Ультразвуковой контроль проводился с использованием прибора ультразвукового контроля MAC NDT «Echomac» предназначенного для обнаружения дефектов при контроле в поточной линии. Вязкость жидкой стали измерялась методом затухающих крутильных колебаний тигля с расплавом в режиме нагрева и последующего охлаждения образцов в диапазоне температур от 1460 до 1810 °С.

Ключевые слова: трубы нефтегазового сортамента, сталь, ультразвуковой контроль, дефекты, расплав, вязкость, микро-неоднородности, температурно-временная обработка расплава.

Viscosimetric data on liquid 32G2 steel taken from working rollers of a reversible rolling mill with different ultrasonic behavior illustrate the influence of defects recorded in ultrasound monitoring on the temperature and time dependence of the liquid steel kinematic viscosity. Samples taken from the assortment Naftogaz pipes. Conclusions about the nature of the influence of defects detected by the magnetic and ultrasonic methods, the nature of the temperature and time dependence of kinematic viscosity of the liquid steel 32G2 authors did. A MAC NDT «Echomac» ultrasonic defectoscope is employed in monitoring. Ultrasonic devices control MAC NDT «Echomac» for the detection of defects in the control the production line is. Measured temperature and time dependences of the cinematic viscosity of the liquid steel. The viscosity of the liquid steel is measured by means of damping torsional oscillations of a crucible with melt in heating and subsequent cooling in the range 1460-1810°C.

Keywords: Naftogas assortment pipes, steel, ultrasonic monitoring, defects, melts, viscosity, microinhomogeneity, temperature-time processing of the melt.

Ультразвуковой и магнитопорошковый контроль горячекатаных труб нефтегазового сортамента позволяет выявить дефекты металла – несплошности, заполненные газом или шлаком. Известно, что коэффициент

отражения ультразвука на границе дефекта, заполненного газом, по модулю близок к единице; для дефекта, заполненного шлаком, этот коэффициент существенно меньше; слабый отраженный сигнал дают тонкие окисные пленки [1–4]. Чувствительность ультразвукового контроля при этом, как правило, соответствует эквивалентному размеру дефекта Ø5 мм. Согласно требованиям ОСТ 24.023.33-86 наличие несплошностей с эквивалентным диаметром менее 7 мм считается допустимым. Результаты металлографического изучения дефектов труб свидетельствуют о присутствии неметаллических включений; загрязненность не превышает 1 балла. Неметаллические включения (оксиды, сульфиды, силикаты) появляются в изделиях из стали при попадании огнеупорного материала в жидкий металл или скопления продуктов раскисления [5–6].

В условиях ОАО «Синарский трубный завод» проводился ультразвуковой и магнитопорошковый контроль качества труб из стали 32Г2, предполагающий выявление несплошностей и других дефектов (типа трещин). Использовался прибор ультразвукового контроля MAC NDT «Echomac». Чувствительность контроля определялась эквивалентным диаметром несплошности, равным 5 мм. Сталь марки 32Г2 содержит компоненты в следующем соотношении, мас. %: углерод 0,30–0,35, кремний 0,17–0,37, марганец 1,20–1,50, хром не более 0,30, никель не более 0,20, медь не более 0,30, сера не более 0,035, фосфор не более 0,035. Например, при контроле качества труб из стали 32Г2, с помощью прибора ультразвукового контроля MAC NDT «Echomac» обнаруживаются несплошности глубиной до 0,35 мм, расположенные под острым углом к поверхности (рис. 1). Вокруг несплошностей наблюдается обезуглероживание, полость заполнена окалиной.

Актуальный вопрос о связи дефектов строения металлических материалов, регистрируемых ультразвуковым и магнитопорошковым методом, со структурным состоянием их расплавов, до сих пор не обсуждался. Например, известно, что наличие неметаллических включений в стали влияет на жидкотекучесть расплава, процесс кристаллизации и акустические характеристики готовых стальных изделий, однако не установлено зависимости скорости ультразвука от структуры литого металла, поэтому судить о природе связи акустических характеристик и структуры твердого и жидкого металла затруднительно [2–4].

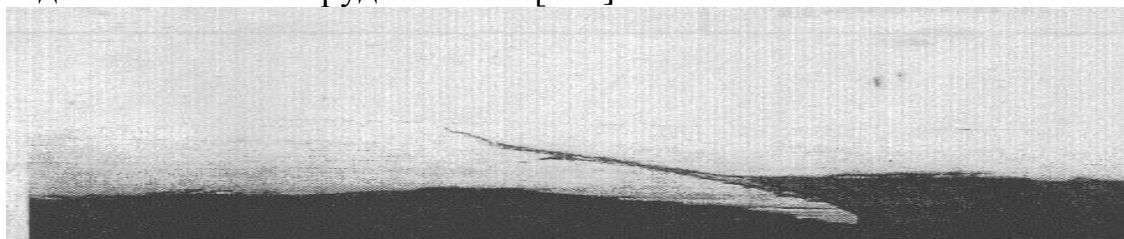


Рис. 1. Результат металлографического изучения дефекта в образце, отобранном от трубы из стали 32Г2 (обнаружен в результате ультразвукового контроля)

Авторы настоящей работы предлагают перспективный способ улучшения качества изделий из стали 32Г2 – гомогенизирующую термическую обработку металлической жидкости [7]. Этот способ позволяет получить металл с минимальным количеством дефектов и не требует высоких скоростей охлаждения [7–9]. Идея метода основана на предположении о том, что при температурах выше температуры ликвидус в металлической жидкости в течение длительного времени могут существовать микронеоднородности, отличные по химическому составу от окружающего расплава. Для их разрушения нужны перегревы жидкого металла до определенной для каждого состава температуры $T_{\text{гом}}$. После такого перегрева расплав необратимо переходит в состояние истинного раствора, что существенно изменяет условия его кристаллизации. Температуру $T_{\text{гом}}$, отвечающую необратимому переходу расплава в гомогенное состояние, в этом случае определяли поначалу высокотемпературного совпадающего участка политерм нагрева и охлаждения.

Вязкость ν измеряли методом затухающих крутильных колебаний тигля с расплавом в режиме нагрева и последующего охлаждения образцов в диапазоне температур от 1460 до 1810 °С. Измерения температурных зависимостей проводили в режиме изотермических выдержек (не менее 30 мин.) со сравнительно малыми (10–15 °С) ступенчатыми изменениями температуры. Систематическая погрешность измерения $\nu(T)$ составляла 3 %, а случайная, определяющая разброс точек в ходе одного опыта, при доверительной вероятности $p = 0,95$ не превышала 1,5 %. Измерение временных зависимостей вязкости осуществляли в отдельных экспериментах. При каждой температуре проводили 15–40 последовательных отсчетов. Температуру поддерживали на заданном уровне с точностью 1 °С с помощью высокоточного регулятора. При проведении измерений регистрацию параметров колебаний осуществляли оптическим способом с помощью системы фоторегистрации колебаний. Экспериментальная установка, методика измерений временных и температурных зависимостей кинематической вязкости расплавов и обработки экспериментальных данных подробно описаны в работах [10–12]. Образцы для вискозиметрического исследования были отобраны от труб из стали 32Г2, характеризующихся различной степенью дефектности. Во всех опытах использовали тигли из ВеО. Опыты проводили в атмосфере высокочистого гелия под давлением 10^5 Па.

Результаты вискозиметрического исследования образцов жидкой стали 32Г2, отобранных от труб, характеризующихся различной степенью дефектности представлены на рис. 2, 3. Для образцов стали 32Г2 с дефектами обнаружено расхождение политерм нагрева и охлаждения (гистерезис) (рис. 2) – $T_{\text{гом}} = 1780$ °С. Для образцов стали 32Г2, не имевшего дефектов, обнаружено так же расхождение политерм нагрева и охлаждения (гистерезис) (рис. 3) – $T_{\text{гом}} = 1650$ °С. Авторы считают, что для стали марки

32Г2 целесообразно повысить температуру нагрева расплава до 1650–1780 °С, т. е. применить гомогенизирующую термическую обработку металлической жидкости.

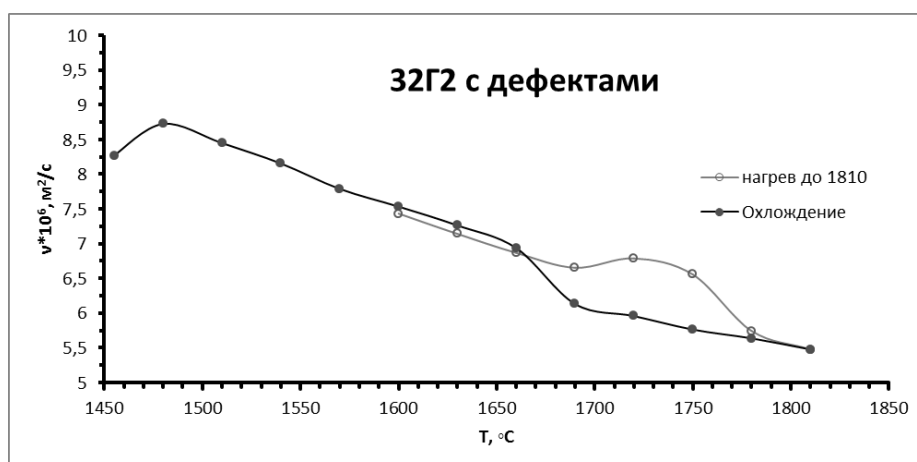


Рис. 2. Температурная зависимость кинематической вязкости жидкой стали марки 32Г2 с дефектами

Полученные результаты можно качественно интерпретировать с позиций представлений о микронеоднородном строении металлических расплавов [5]. Согласно этим представлениям, при плавлении многофазного стального слитка не образуется сразу же однородный на атомном уровне раствор легирующих элементов в железе и в определенном интервале температур продолжает сохраняться микронеоднородное состояние. Судя по ветвлению кривых $\nu(T)$, переход расплава в состояние истинного раствора происходит лишь вблизи точек этого ветвления. Температуру $T_{\text{гом}}$, отвечающую необратимому переходу расплава в гомогенное состояние, авторы определили поначалу высокотемпературного совпадающего участка поли-терм нагрева и охлаждения. $T_{\text{гом}}$ для жидкой стали марки 32Г2 составляет 1780 и 1670 °С (рис. 2, 3). Согласно [5], после перегрева выше $T_{\text{гом}}$ расплав необратимо переходит в состояние истинного раствора, что существенно изменяет условия кристаллизации металла даже при промышленных скоростях охлаждения и можно ожидать существенного повышения уровня свойств литого металла.

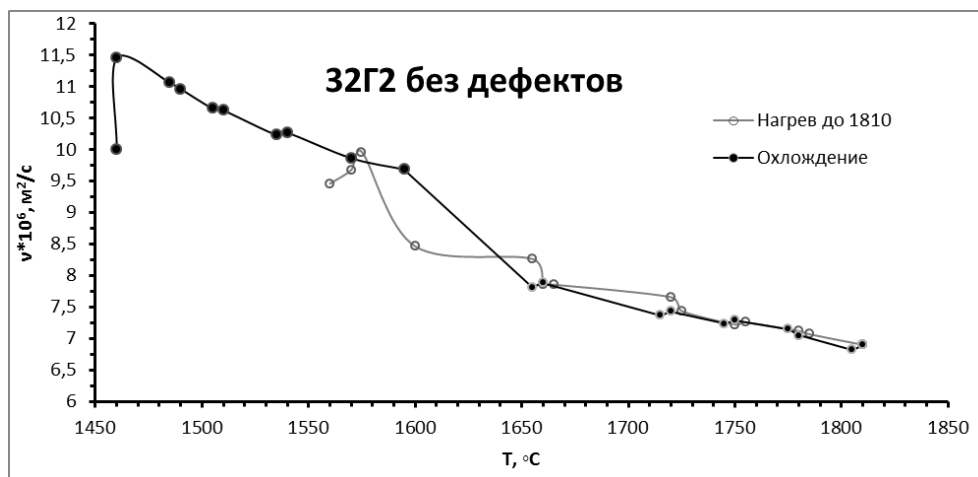


Рис. 3. Температурная зависимость кинематической вязкости жидкой стали марки 32Г2 без дефектов

Список литературы

1. Кретов Е. Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении / Е. Ф. Кретов. СПб.: «Радиоавионика», 1995. 316 с.
2. Муравьев В. В. Скорость звука и структура сталей и сплавов / В. В. Муравьев, Л. Б. Зуев, К. Л. Комаров. Новосибирск: Наука, Сиб. изд. фирма РАН. 1996. 184 с.
3. Выборнов Б. И. Ультразвуковая дефектоскопия / Б. И. Выборнов. М.: Металлургия, 1985. 256 с.
4. Алешин Н. П. Методы акустического контроля металлов / Н. П. Алешин, В. Е. Белый, А. Х. Вopilкин и др. ; под ред. Н. П. Алешина. М., Машиностроение, 1989. 456 с.
5. Атлас дефектов стали / пер. с нем. М.: Металлургия, 1979. 188 с.
6. Металлография железа : справ. изд. / Лямбер Н., Греди Т., Хабракен Л. и др. ; пер. с нем. М.: Металлургия, 1985. 248 с.
7. Баум Б. А. Металлические жидкости / Б. А. Баум. М.: Наука. 1979. 135 с.
8. Жидкая сталь / Баум Б. А., Хасин Г. А., Тягунов Г. В. и др. М.: Металлургия, 1984. 208 с.
9. Гельд П. В. Расплавы ферросплавного производства / П. В. Гельд, Б. А. Баум, М. С. Петрушевский. М.: Металлургия. 1973, 288 с.
10. Тягунов Г. В. Установка для измерения кинематической вязкости металлических расплавов / Г. В. Тягунов, В. С. Цепелев, М. Н. Кушнир, Г. Н. Яковлев // Заводская лаборатория. 1980. № 10. С. 919–920.
11. Поводатор А. М., Конашков В. В., Вьюхин В. В., Цепелев В. С. Способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных металлических расплавов. Пат. № 2386948 РФ. Оpub. 20.04.2010. Бюл. № 11.
12. Поводатор А. М., Конашков В. В., Вьюхин В. В., Цепелев В. С. Устройство для исследования высокотемпературных металлических расплавов. Пат. № 104721 РФ. Оpub. 25.05.2011. Бюл. № 14А.